



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Universitätsbibliothek Paderborn

Über Erd-Berechnungsmethoden und über Hilfstabellen zur Berechnung der Querschnittsflächen von Auf- und Abträgen

Schmoll von Eisenwerth, Adolph

Wien, 1879

[urn:nbn:de:hbz:466:1-52277](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-52277)

ÜBER
ERD-BERECHNUNGSMETHODEN

UND ÜBER

HILFSTABELLEN

ZUR

BERECHNUNG DER QUERSCHNITTSFLÄCHEN

VON

AUF- UND ABTRÄGEN.

VON

ADOLPH SCHMOLL v. EISENWERTH

INGENIEUR IN FIRMA: „GEBR. KLEIN, A. SCHMOLL & E. GAERTNER, BAUUNTERNEHMER IN WIEN.“

MIT EINEM ZEICHNUNGSBLATT.

SEPARAT-ABDRUCK AUS DER ZEITSCHRIFT DES ÖSTERREICHISCHEN INGENIEUR- & ARCHITEKTEN-VEREINS, V., VI. UND VII. HEFT, 1879.

WIEN 1879.

IM SELBSTVERLAGE DES VERFASSERS.

DRUCK VON N. V. WILDFEIM IN WIEN.

ÜBER
ERD-BERECHNUNGSMETHODEN

BERECHNUNG DER QUERSCHNITZFLÄCHEN

VON
HERRN

ADOLF SCHMIDT & FISCHER

WIEN 1874

Ueber Erd-Berechnungsmethoden

und

über Hilfstabellen zur Berechnung der Querschnittsflächen von Auf- und Abträgen.

Von

Adolph Schmoll v. Eisenwerth,

Ingenieur in Firma: „Gedr. Klein, A. Schmoll & E. Gaertner, Bauunternehmer in Wien“.

(Mit einem Zeichnungsblatte.)

Ueber die beim Erdbau zur Anwendung gelangenden Körper-Berechnungsmethoden und über die Hilfsmittel zur Abkürzung der Massen-Ermittlungen ist schon so Vieles geschrieben und veröffentlicht worden, dass es fast den Anschein hat, als wäre dieser Gegenstand zur Genüge beleuchtet. Und dennoch erregt es bei manchem Fachmann noch immer Erstaunen zu hören, dass die allgemein gebräuchliche Erd-Berechnungsmethode — welche im Wesentlichen darin besteht, das arithmetische Mittel der Flächeninhalte zweier auf einander folgender Querprofile mit der horizontalen Entfernung letzterer multiplicirt, als den kubischen Inhalt des dazwischen liegenden, seitlich geböschten Erdkörpers zu betrachten — unrichtig ist.

Obgleich L. Henz, königl. preussischer Geheim-, Regierungs- und Baurath, in seinem Werke: „Praktische Anleitung zum Erdbau“, Berlin 1868; ferner Dr. E. Winkler, ordentlicher Professor für Eisenbahn- und Brückenbau, auf Seite 57 seines Elaborates: „Der Eisenbahn-Unterbau“, nach den Vorträgen über Eisenbahnbau, gehalten an der k. k. technischen Hochschule in Wien“, Prag 1874, dann Joh. G. Schoen, o. ö. Professor an der k. k. technischen Hochschule in Brünn, in seiner interessanten Abhandlung: „Ueber Raumberechnung unregelmässiger Körper“ — veröffentlicht in der „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins“, XXIX. Jahrgang, 1877, VI. Heft — und vor diesen Autoren schon andere auf die Fehler, welche bei Anwendung der obgenannten annähernden Berechnungsmethode begangen werden, aufmerksam gemacht haben, so erscheint es uns doch als zweckmässig, durch einige Zahlen-Beispiele darauf hinzuweisen, dass die allgemein eingebürgerte Erd-Berechnungsmethode um so unrichtigere, zu grosse Resultate ergibt, je mehr die Flächeninhalte der beiden Querschnitte, welche den als Prismatoid zu betrachtenden Erdkörper an seinen verticalen Kopfflächen begrenzen, von einander abweichen.

Nehmen wir beispielsweise an, es handle sich um die Raumermittlung der beiden mit Fig. 1 und 2 bezeichneten Erdkörper trapezförmigen Querschnittes.

Nach der im allgemeinen Gebrauch stehenden Methode ist der Rauminhalt des Körpers Fig. 1:

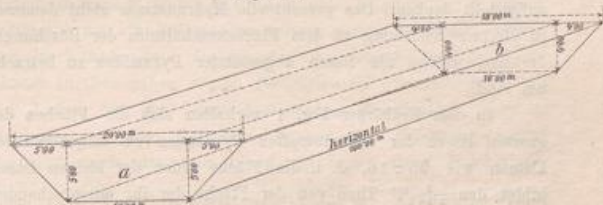
$$\begin{aligned} \text{Profil } a \text{ hat einen Flächeninhalt von } & 75 \cdot 0 \text{ qm} \\ \text{„ } b \text{} & 56 \cdot 0 \text{ qm} \\ & \frac{100 \cdot 0}{2} \times 131 \cdot 0 \text{ qm} = 6550 \cdot 0 \text{ kbm} \end{aligned}$$

und derjenige des Körpers Fig. 2:

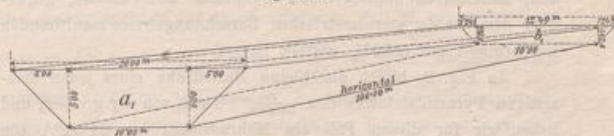
$$\begin{aligned} \text{Profil } a_1 \text{ hat einen Flächeninhalt von } & 75 \cdot 0 \text{ qm} \\ \text{„ } b_1 \text{} & 14 \cdot 0 \text{ qm} \\ & \frac{100 \cdot 0}{2} \times 89 \cdot 0 \text{ qm} = 4450 \cdot 0 \text{ kbm} \end{aligned}$$

Dagegen ergibt die richtige (stereometrische) Berechnungsmethode für den kubischen Inhalt des Körpers Fig. 1:

Figur 1.



Figur 2.



1. Mittelkörper (1 abgekürzter Keil) =

$$100 \times 10 \times \frac{5+4}{2} = 4500 \cdot 0 \text{ kbm}$$

2. Seitenkörper (2 abgestutzte dreieckige

Pyramiden) =

$$2 \times \frac{100}{3} \times \left(\frac{5 \times 5}{2} + \frac{4 \times 4}{2} + \sqrt{\frac{5 \times 5}{2} \times \frac{4 \times 4}{2}} \right) = 2033 \cdot 33 \text{ kbm}$$

$$\text{Zusammen} = 6533 \cdot 33 \text{ kbm,}$$

und für denjenigen des Körpers Fig. 2:

1. Mittelkörper (1 abgekürzter Keil) =

$$100 \times 10 \times \frac{5 + 1.245}{2} = 3122.50^{k\text{bm}}$$

2. Seitenkörper (2 abgekürzte dreieckige Pyramiden) =

$$2 \times \frac{100}{3} \times \left(\frac{5 \times 5}{2} + \frac{1.245 \times 1.245}{2} + \sqrt{\frac{5 \times 5}{2} \times \frac{1.245 \times 1.245}{2}} \right) = 1092.47^{k\text{bm}}$$

$$\text{Zusammen} = 4214.97^{k\text{bm}}$$

Das Mehrausmass, infolge Anwendung der allgemein gebräuchlichen Berechnungsweise anstatt der richtigen (stereometrischen), beträgt für den durch Fig. 1 dargestellten Erdkörper

$$= (6550.00 - 6533.33) = 16.67^{k\text{bm}},$$

dagegen für den durch Fig. 2 dargestellten

$$= (4450.00 - 4214.97) = 235.03^{k\text{bm}}.$$

Da für die kubischen Inhalte der beiden keilförmigen, aber eine constante Breite beibehaltenden Mittelkörper, Fig. 1 und 2, nach beiden Methoden berechnet, $4500.0^{k\text{bm}}$, beziehungsweise $3122.50^{k\text{bm}}$ gefunden wird, so ist es evident, dass die constantierten Mehrausmasse aus der auf die Seitenkörper angewendeten annähernden Berechnungsweise resultiren, nach welcher jeder der beiden Böschungskörper als dreiseitiges Prisma anstatt als dreiseitiger Pyramidalstutz behandelt wurde. Auf die richtigen Kubikinhalte der Böschungskörper vertheilt, betragen die oben berechneten Mehrausmasse:

für Fig. 1 = 0.82%, und für Fig. 2 = 21.51%.

Das procentuelle Mehrausmass für Erdkörper von constanter Sohlenbreite, begrenzt an beiden Enden von trapezförmigen Querprofilen, identisch mit denjenigen von a und b in Fig. 1, beziehungsweise von a_1 und b_1 in Fig. 2, bleibt selbstverständlich constant, einerlei ob wir uns die betreffenden Querprofile in horizontalen Abständen von je 1^m , oder von je 100^m aufgestellt denken. Das procentuelle Mehrausmass steht demnach in directer Beziehung zu dem Flächenverhältniss der Böschungsdreiecke, welche als Basen abgestutzter Pyramiden zu betrachten sind.

In dem Erdkörper Fig. 1 verhalten sich die Flächen der grossen Basen der abgestutzten Pyramiden zu denjenigen der kleinen wie 25:16, d. i. die Fläche jeder der kleinen Basen bildet den $\frac{1}{1.5625}$ ten Theil von der Fläche der ihr entsprechenden grossen Basis, wobei sich das aus der allgemein üblichen (annähernden) Raumberechnungs-Methode ergebende Mehrausmass, gegenüber dem aus der stereometrischen Berechnungsweise resultirenden Körperinhalt auf 0.82% gestellt hat.

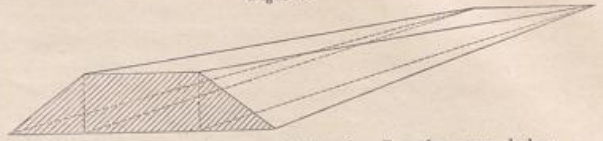
In Fig. 2 bildet die kleine Basisfläche eines jeden dreiseitigen Pyramidalstutzes den $\frac{1}{16.125}$ ten Theil von der grossen, und haben wir für diesen Fall ein Mehrausmass von 21.51% von dem auf stereometrische Weise berechneten Rauminhalt constatirt.

Die Abweichung zwischen den Resultaten der beiden in Betracht gezogenen Berechnungsmethoden erreicht für Erdkörper von constanter Sohlenbreite, wie dies z. B. bei Eisenbahn-, Strassen- und Schiffahrtscanal-Anlagen der Fall ist, ihren Gipfelpunct dann, wenn der zu bemessende Einschnitt, beziehungsweise Damm, wie Fig. 3 zeigt, an einem Ende auf Null ausläuft.

Für diesen Fall beträgt das durch die annähernde Methode berechnete Volumen der Seitenkörper (Böschungs-

Pyramiden) 50% mehr als dasjenige für genannte Körper nach den Grundlehren der Stereometrie ermittelte.

Figur 3.



Auf Grund derartiger vergleichender Berechnungen haben wir die hier beigefügte „graphische Darstellung des procentuellen Mehrausmasses eines nach der allgemein gebräuchlichen Methode (Mittelschnittfläche multiplicirt mit der horizontalen Entfernung zwischen den beiden Querprofilen) berechneten Böschungskörpers, im Vergleich zum Volumen desselben, als Pyramide behandelten Körpers“ construirt, welche eventuell zur Richtigstellung der in obigem Sinne aus der gewöhnlichen Erd-Berechnungsmethode sich ergebenden Rauminhalte benutzt werden kann.

Im Vorangehenden wurde das Mehrausmass in Procenten, ausschliesslich auf das stereometrische Volumen der Böschungs-Pyramide bezogen, ausgedrückt.

Für Eisenbahn-, Canal- und Strassenanlagen mit constanten Sohlen- oder Kronenbreiten, könnte das fragliche Mehrausmass auf ähnliche Weise in Procenten vom stereometrischen Inhalte des zwischen je zwei verticalen Querschnitten liegenden Theiles eines Einschnittes, beziehungsweise eines Dammes, in graphischer Form dargestellt werden, wobei die Verhältnisszahlen der trapezoidischen Profilflächen zu einander zu ermitteln, und in den diesen Flächenverhältnissen entsprechenden Abständen als Ordinaten aufzutragen wären.

Beispielsweise beträgt das Mehrausmass für den Erdkörper Fig. 1 bei 10^m Planiebreite 0.255%, dagegen bei 5^m Planiebreite 0.389%; und für den Erdkörper Fig. 2 bei 10^m Planiebreite 5.576%, dagegen bei 5^m Planiebreite 8.856% vom richtigen (stereometrischen) Kubikinhalte des betreffenden Prismatoides.

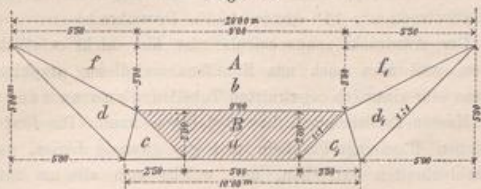
Die Percentsätze sind also hier kleiner als die eingangs berechneten, weil in beiden Fällen die infolge Anwendung der annähernden Berechnungsmethode begangenen Fehler — bei Fig. 1 = $16.67^{k\text{bm}}$, bei Fig. 2 = $235.03^{k\text{bm}}$ — unverändert geblieben und jetzt auf eine mehr oder weniger grosse Masse vertheilt sind, je nachdem der Mittelkörper zu 10^m oder zu 5^m Breite angenommen und in Rechnung gezogen wurde, wogegen dieser Mittelkörper vorher ganz unberücksichtigt geblieben war. Es geht daraus hervor, dass für jede bestimmte Planiebreite die Curve der procentuellen Mehrausmasse eine andere sein muss.

Der in Rede stehende Fehler nimmt noch viel bedeutendere Dimensionen an, wenn es sich um die Raumberechnung von Prismatoiden handelt, wie solche z. B. bei dem Erdbau von Ent- und Bewässerungs-Canälen, deren Sohlenbreiten in der Richtung des Gefalles allmählig zu-, beziehungsweise abnehmen, vorkommen.

Das Flächenverhältniss der auf einander folgenden Querprofile ist, wie aus dem Folgenden ersichtlich gemacht wird, dann nicht mehr massgebend zur eventuellen Richtigstellung der aus der gewöhnlichen Raum-Berechnungsmethode hervorgehenden Resultate. Wir haben gesehen, dass die auf den Körperinhalt von Fig. 2 bezügliche Differenz zwischen den Resultaten der gewöhnlichen und der richtigen Berechnungsmethode $235.03^{k\text{bm}}$ über den wirklichen Kubikinhalte dieses Erdkörpers betrug, und dass

in diesem speciellen Falle die beiden verticalen Schnittflächen sich zu einander verhalten wie $75^{\square m} : 14^{\square m}$. Ermitteln wir jetzt nach beiden Methoden das Volumen eines Prismatoides, dessen Länge und dessen beide parallelen Schnittflächen mit denjenigen von Fig. 1 ganz identisch sind, dessen Sohle sich aber allmähig verbreitert. In Fig. 4 ist ein solcher Erdkörper von 100^m Länge, dessen beide Schnittflächen A und B sich teilweise decken, dargestellt.

Figur 4.



Die gewöhnliche Berechnungsmethode ergibt hiefür:
 Profil $A = 75.0^{\square m}$ $89.0^{\square m}$
 „ $B = 14.0^{\square m}$ $\frac{89.0^{\square m}}{2} \times 100.0^m = 4450.0^{k^{\text{bm}}}$,
 wogegen die geometrische Berechnung folgendes Resultat liefert:

Prisma $a = \frac{5.0 + 9.0}{2} \times 2.0 \times 100.0 = 1400.0^{k^{\text{bm}}}$

Keil $b = 9.0 \times \frac{3.0}{2} \times 100.0 = 1350.0^{k^{\text{bm}}}$

Pyramiden:

c und $c_1 = 2 \times \frac{2.50 \times 2.0}{2} = 5.00^{\square m}$

d und $d_1 = 2 \times \frac{5.0 \times 2.0}{2} = 10.00^{\square m}$

f und $f_1 = 2 \times \frac{5.50 \times 3.0}{2} = 16.50^{\square m}$

$\frac{100.0}{3} \times 31.50^{\square m} = 1050.0$

Zusammen = $3800.0 = 3800.0^{k^{\text{bm}}}$

Differenz zwischen beiden Resultaten = $650.0^{k^{\text{bm}}}$.

Das aus der allgemein gebräuchlichen aber fehlerhaften Massen-Berechnungsmethode resultirende Mehrausmass beträgt in diesem speciellen, auf Fig. 4 bezüglichen Falle

$= (3800 : 650^{k^{\text{bm}}} :: 100 : x) = 17.105\%$

vom wirklichen Volumen, wogegen der Fehler bei dem von gleich grossen Schnittflächen begrenzten Erdkörper Fig. 2, dessen Sohlenbreite eine constante war, nur 5.576% betrug.

Denkt man sich die beiden Querprofile A und B , Fig. 4, in einem horizontalen Abstand von 1000^m , mit anderen Worten, wäre der Erdkörper zehnmal länger als in obiger Berechnung angenommen wurde, so würde die Differenz zwischen beiden Resultaten auch zehnmal grösser sein; sie würde dann $6500^{k^{\text{bm}}}$ betragen.

Der Percentsatz von 17.105 würde jedoch hiedurch nicht alterirt werden.

So wünschenswerth es nun auch wäre und so sehr auch wir dafür sind diese unrichtige Berechnungsmethode nur da in Anwendung zu bringen, wo nur annähernde Massen-Ermittlungen verlangt werden, dieselbe dagegen aber überall dort durch die richtige Methode zu ersetzen, wo es sich um genaue Ueberschläge, quasi um das Mein und Dein handelt, so liegt doch

die Befürchtung sehr nahe, dass es einstweilen bei diesem frommen Wunsche verbleiben wird, weil der Durchführung einer derartigen Massregel viels nicht zu unterschätzende Schwierigkeiten entgegenstehen. Wenn die Massenberechnung nach der richtigen Weise bei Schiffahrtsanal-, Strassen- und Eisenbahnbauten von constanten Sohlenbreiten schon eine sehr complicirte und zeitraubende Arbeit ist, so ist sie es in noch viel höherem Grade bei der Ausführung von Ent- und Bewässerungscanälen mit variablen Sohlenbreiten.

Aber abgesehen von diesen Schwierigkeiten, welche ja bei den Massen-Ermittlungen von Kunstbauten einem längst überwundenen Standpunct angehören, indem das hergestellte Beton-, Ziegel- und Bruchstein-Mauerwerk nach der stereometrischen Methode berechnet wird, würde die Durchführung der erwähnten Massregel auf ein viel grösseres, sowohl das pecuniäre Interesse der Bauvergeber, als auch dasjenige der die Erdbauten ausführenden Arbeiter, Accordanten und Bau-Unternehmer direct berührendes Hinderniss stossen. Wir meinen die mit Einführung der richtigen Körper-Berechnungsmethode behufs der Massen-Ermittlung beim Erdbau verbundene gleichzeitige Erhöhung der Einheitspreise. So lange nämlich die Erdbewegungen nach dem unrichtigen (annähernden) Berechnungsverfahren bemessen werden, wird dem Ausführenden ein bedeutend grösseres als das tatsächlich ausgeschachtete, transportirte und angeschüttete Volumen verrechnet, und zu den diesem Verfahren entsprechenden Einheitspreisen bezahlt. Diese Einheitspreise, welche je nach den verschiedenen Bodengattungen und je nach der Art und Weise der ausgeführten Erdbewegung variiren, sind aber nicht etwa auf die Beobachtungen, welche man in kleinem Massstabe durch Ausschachtung von Erdkörpern in der regelmässigen Form von geraden Prismen gemacht hat, basirt, sondern auf ausgedehnte Erfahrungsergebnisse, welche während der Ausführung von grossen Erdbauten, namentlich bei der Herstellung von Eisenbahnen und Canälen, gesammelt wurden, wobei das verrechnete Volumen der bewegten Erdmassen um ein Bedeutendes grösser war als dasjenige, welches sich durch Anwendung des geometrischen Raum-Berechnungsverfahrens ergeben haben würde. Beispielsweise erforderte das Lösen und Laden des aus Lehm bestehenden Einschnittes, Fig. 4, 8900 Stunden eines Arbeiters, woraus das Erfahrungsergebniss abgeleitet wurde, dass zum Lösen und Laden eines Kubikmeters

Lehm, unter ähnlichen Umständen, $\frac{8900}{4500} = 2$ Stunden eines

Arbeiters erforderlich sind. Wendet man aber die stereometrische Berechnungsmethode auf diesen concreten Fall an, so findet man,

dass zu der fraglichen Leistung $\frac{8900}{3800} = 2.34$ Stunden eines

Arbeiters verwendet worden sind. Da hier die Leistung eines Arbeiters infolge Anwendung der richtigen Körperberechnung sich um 17.105% geringer herausstellt, so müsste der auf dieses Erfahrungsergebniss basirte Einheitspreis für eine ähnliche in Zukunft auszuführende und nach den Grundlehren der Stereometrie zu bemessende Erdarbeit folgerichtig um 17.105% erhöht werden, vorausgesetzt, dass der locale Tagelohn unverändert bleiben würde.

Die Aufgabe: zu ermitteln um wie viel Procente die bisher in Verwendung stehenden, einer jeden Boden- und Arbeitsgattung entsprechenden Erfahrungsergebnisse, beziehungsweise Einheitspreise zu erhöhen wären, um sie mit der in Zukunft eventuell zur Durchführung gelangenden Anwendung der richtigen Massen-

Erhebung in Einklang zu bringen, ist sicherlich keine leichte, und bedarf sehr umfassender und eingehender Studien.

In so lange aber die bisher gebräuchliche unrichtige Berechnungsweise nicht durch die richtige ersetzt, und in so lange die Anwendung der letzteren nicht ausdrücklich in den diesbezüglichen Bedingungen, welche dem Ausführenden vor der Offertverhandlung, resp. vor Vertragsabschluss, bekannt zu geben sind, vorgeschrieben ist, hat auch selbstverständlich die Bemessung der Erdarbeiten nach dem allgemein bestehenden Usus, d. i. nach der annähernden Berechnungsweise zu geschehen*).

Die Volumberechnung nach der bisher gebräuchlichen Methode ist in Folge Anwendung des Planimeters behufs Flächen-Ermittlung der Querprofile um ein Wesentliches erleichtert worden, obgleich dieses Instrument die Fläche auch nicht direct, sondern erst nachdem das Resultat mit einer Verhältnisszahl multiplicirt wird, angibt. Unseres Dafürhaltens sollte die Flächen-Ermittlung von Querprofilen vermittelst des Planimeters nur zum Zwecke von Vorschlägen oder zur Controle genauer Flächenberechnungen zulässig sein. Bei Massenberechnungen, behufs Aufstellung von endgiltigen Verdienstaussweisen, resp. Abrechnungen, sollte die erste und massgebende Flächen-Ermittlung der Querprofile auf dem gewöhnlichen Rechnungswege oder auch mit Zuhilfenahme von Tabellen, immerhin aber mit Benützung von Original- oder berechneten Maassen stattfinden; dagegen könnte die Gegenrechnung mit Benützung von abgegriffenen Maassen oder auch mit Anwendung des Planimeters geschehen, so wie dies z. B. bei den königl. preussischen Eisenbahnbauten für die zum Zwecke der Grundentschädigung aufzustellenden Flächenberechnungen Vorschritt ist. Obgleich das Planimeter an und für sich in geübter Hand sehr brauchbare Resultate liefert, so hängt doch deren Genauigkeitsgrad nicht allein von der Zuverlässigkeit des Instrumentes, sondern von vielerlei anderen Umständen ab, wie z. B. von der Richtung, nach welcher hin die Figur umfahren wird**), von der Glätte des Papiers, von der Veränderlichkeit des letzteren, und hauptsächlich von der mehr oder minder grossen Genauigkeit, mit welcher die Figuren nach dem Massstabe aufgetragen worden sind.

Handelt es sich um die Massenberechnung einer grösseren Erdarbeit, über welche keine nach dem Massstabe genau aufgetragenen Profile, sondern nur dürftig cotirte Skizzen vorhanden sind, wie dies bei Vorprojecten häufig der Fall ist, so ist man nach wie vor genöthigt, die Profil-

*) Gelegentlich der Abrechnungen über die ausgeführten Erd- und Kunstbauten eines bedeutenden Bewässerungs-Canales, welche ich 1864—1865 als Vertreter einer spanischen Bau-Unternehmung in der Provinz Quadalajara (Neu-Castilien, Spanien) ausgeführt habe, wurde von Seiten der die Concessionäre vertretenden englischen Ingenieure das Ansinnen gestellt, die Erdarbeiten nicht (wie dies vorher behufs Verabfolgung von Abschlagszahlungen geschehen war) nach der allgemein üblichen, sondern nach der stereometrischen Methode zu berechnen, ein Ansinnen, welches — da in den Bedingungen von keiner der beiden Berechnungsmethoden die Rede war — von Seite der Bau-Unternehmung mit Erfolg zurückgewiesen wurde.

**) Siehe: „Ein Beitrag zur Leistungsfähigkeit der in der Praxis hauptsächlich verwendeten Planimeter“, von Prof. Dr. Wilh. Tinter. „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins“, XXIX. Jahrgang, 1877. Hefte VIII und IX.

flächen mit oder ohne Zuhilfenahme von Tabellen zu berechnen. Letztere lassen sich in zwei Haupt-Kategorien eintheilen, nämlich in graphische Tabellen und in Zahlen-Tabellen.

Als zu den erstgenannten gehörend, bezeichnen wir hier beispielsweise die einer besonderen Erwähnung werthen: „Tableaux graphiques, faisant connaitre sans calculs les surfaces des profils et les cubes des terrassements en terrain horizontal, pour des platesformes de 0 à 20 mètres de largeur et pour des hauteurs de 0 à 20 mètres; par E. Mathieu, Ingénieur.“ („Nouvelles annales de la construction“, 11^e Année, 1865, Décembre.)

Der Ausdruck „sans calculs“ ist hier nicht wörtlich zu nehmen, weil man auch mit Zuhilfenahme dieser graphischen, übrigens sehr sinnreich construirten Tabellen, ohne zu rechnen keine Massen-Ermittlungen bewerkstelligen kann. Die fünf verschiedenen Böschungs-Parabeln und die zwanzig Linien, welche die Sohlenbreiten darstellen, und welche sich alle am unteren Rande der Tabelle in einem Punkte vereinigen, kreuzen sich mit den die Flächeninhalte bezeichnenden Linien der Abscissen und Ordinaten oft unter so spitzen Winkeln, dass von einer leichten, dem erforderlichen Genauigkeitsgrad entsprechenden Ablesung nicht die Rede sein kann. Ein in der Massenberechnung geübter Techniker dürfte in derselben Zeit, welche erforderlich ist um die Kubikinhalte vermittelst graphischer Tabellen zu erheben, die Resultate auch auf dem gewöhnlichen Rechnungswege zu ermitteln im Stande sein.

Zur zweiten Kategorie gehörend, erwähnen wir hier beispielsweise die noch in altem Maasse verfasste „Tabelle zur Flächenberechnung des Querschnittes eines eingeleisigen Auf- und Abtrags-Profiles des Eisenbahnplanums bei horizontalem Terrain“, welche in dem bereits citirten Werke: „Praktische Anleitung zum Erdbau“ von L. Henz (Berlin 1868, Verlag von Ernst und Korn) enthalten ist; ferner die „Flächentafeln zur Kubatur-Berechnung bei Eisenbahn-Projecten“ von Carl Kökert (Wien 1873, Verlag von Lehmann und Wentzel), und schliesslich die „Tabellen zur Berechnung der Querschnittsflächen der Auf- und Abträge von variablen Planiebreiten für Strassen- und Eisenbahnkörper“ von L. Merth (Wien 1873, Selbstverlag und in Commission bei Carl Gerold's Sohn).

Sowohl betreffs der Tabellen von C. Kökert, als auch derjenigen von L. Merth verweisen wir auf die diesbezüglichen, in Heft VI 1873, beziehungsweise Heft V 1874, in der „Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins“ enthaltenen Recensionen.

Die Tabellen von L. Henz, und auch die von Kökert, finden eine sehr beschränkte Anwendung, weil die berechneten Querschnitte sich nur auf eine, resp. auf zwei ganz bestimmte Planiebreiten beziehen, und weil das natürliche Terrain der Quere nach als horizontal vorausgesetzt ist.

Die Tabellen von L. Merth, welche nur für sieben ganz bestimmte Böschungsverhältnisse berechnet sind, haben allerdings den Vortheil über die vorgenannten, dass sie zur Flächenberechnung von Querprofilen mit variablen Planiebreiten*) und

*) Es heisst zwar in der Einleitung, welche genannten Tabellen vorangeht, dass auf Mittel gedacht werden musste, für jede beliebige Planiebreite mit Anwendung von Hilfstafeln die Querschnittsflächen zu berechnen. Zur Berechnung currenter Bahnstrecken mögen diese Tabellen zweifelsohne ausreichen; für breitere Einschnitte und Anschüttungen, wie solche z. B. bei Bahnhofsanlagen vorkommen, aber

sowohl für horizontales als auch für geradlinig ansteigendes Terrain verwendet werden können.

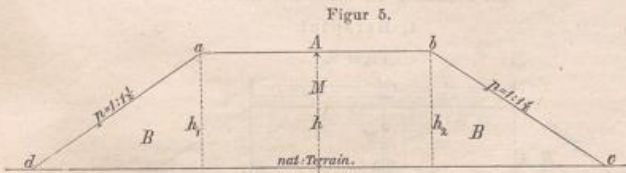
Zur Flächenberechnung von Querprofilen bei horizontalem Terrain leisten, unserer Ansicht nach, Hilfstabellen im Allgemeinen keine wesentlichen Dienste, da in diesem Falle die Ermittlung der oberen Einschnitts-, beziehungsweise unteren Dammbreite nach dem gegebenen Planum und dem Böschungsverhältniss eine sehr einfache Operation ist. Dagegen sind solche Tabellen von relativ grossem Werth, wenn es sich um die Flächenberechnung von Querprofilen bei geneigtem Terrain handelt, weil die Bestimmung der durch die convergirenden Böschungs- und Terrainlinien erzeugten Durchschnittspuncte und die sich hieraus ergebende Einschnitts- oder Dammbreite auf gewöhnlichem Rechnungswege eine sehr zeitraubende Arbeit umfasst.

Da sich die letztere nur auf die Böschungs-Dreiecke erstreckt, die Flächenberechnung des mittleren, der Planiebreite entsprechenden Trapezes keinerlei Schwierigkeiten bietet, so dürfte es empfehlenswerth sein, die Anwendung solcher Hilfstabellen auf die Berechnung der genannten Flächendreiecke zu beschränken.

Die als ein zusammenhängendes Ganzes zu betrachtenden und auf die im Vorhergehenden berührte Idee basirten, in ein möglichst knappes Format gedrängten Flächenberechnungstabellen I, II und III, welche wir hiermit den verehrten Fachgenossen zur geneigten Kenntniss bringen, sind bei horizontalem und bei abschüssigem Terrain, sowohl für Einschnitte als auch für Anschüttungen von trapezoidischem oder von dreieckigem Querschnitte (Anschnittsprofile), für alle beim Erdbau vorkommenden Böschungsverhältnisse und für jede beliebige Planiebreite verwendbar und leicht verständlich.

Sie reichen vorläufig bis zu Tiefen, beziehungsweise Höhen von 0 bis 21^m in verticalen Abständen von 5 zu 5^m, können jedoch nach Belieben weiter ausgedehnt werden. Die Flächen der Böschungs-Dreiecke sind bis zu vier Decimalstellen, d. i. bis zu einem zehntausendstel Quadratmeter, resp. bis zu 1^{□m} berechnet.

Die Methode, welche bei der Anlage dieser Tabellen zu Grunde gelegt wurde, besteht ihrer Wesenheit nach in Folgendem:



Das Trapez a, b, c, d , Fig. 5, ist in drei Theile, nämlich in die beiderseitigen — bei horizontalem Terrain ganz gleich grossen — rechtwinkligen Dreieckflächen B und B , und in das der Planiebreite entsprechende rechtwinklige Parallelogramm M zerlegt. Die erste Columnne der Tabelle I enthält die in Fig. 5 mit h_1 und h_2 bezeichneten Höhen, beziehungsweise Tiefen des Dammes oder des Einschnittes. Die Fläche eines der beiden Dreiecke $B B$ ist bei horizontalem Terrain für die

nicht; denn beispielsweise ist die Querschnittsfläche einer Anschüttung von 90^m Kronenbreite und von nur 4^m Höhe mit Zuhilfenahme der Tabelle für $1\frac{1}{2}$ füssige Böschungen nicht mehr berechenbar. — Auch sind für jedes Böschungsverhältniss andere Terrainneigungen angenommen.

Höhe h_1 oder h_2 von 0 bis 21^m, für das Böschungsverhältniss von $1:1\frac{1}{2}$ berechnet und in der zweiten Columnne enthalten. Die Fläche des mittleren Theiles M ergibt sich durch eine einfache Multiplication der Höhe h mit der Planiebreite ab , und man benöthigt folglich zu ihrer Ermittlung keiner Tabells.

I. Flächenberechnung von Einschnitts- und Damprofilen bei horizontalem Terrain,

mit Benützung von Tabelle I und II.

1. Beispiel.

Figur 6.



Die Querschnittsfläche des in Fig. 6 dargestellten Abtrages welcher seitlich durch $1\frac{1}{2}$ füssige Böschungen und oben durch die horizontale Terrainlinie begrenzt ist, soll berechnet werden.

Die Fläche der beiden rechtwinkligen Dreiecke B und B laut Tabelle I

$$= 2 \times 20 \cdot 672 \square^m = \dots 41 \cdot 344 \square^m,$$

diejenige des rechtwinkligen Parallelogrammes

$$M = 5 \cdot 25 \times 4 \cdot 40 = 23 \cdot 100 \square^m$$

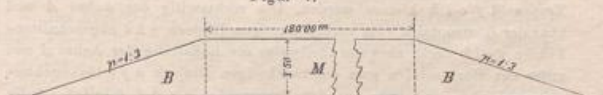
$$\text{Totale Fläche des Profils} = 64 \cdot 444 \square^m.$$

Handelt es sich um die Flächenberechnung eines Querprofils für ein anderes als das in der Tabelle I den Dreieckflächen $B B$ zu Grunde liegende Böschungsverhältniss von $1:1\frac{1}{2}$, so verhält sich im Allgemeinen $1\frac{1}{2}$ zu den in der Tabelle I verzeichneten Dreieckflächen wie das gegebene Böschungsverhältniss zu den gesuchten Dreieckflächen.

Die Tabelle II enthält die auf die Dreieckflächen bezüglichen Multiplications-Coefficienten, bei horizontalem Terrain, für die am häufigsten vorkommenden Böschungsverhältnisse.

2. Beispiel.

Figur 7.



Die Querschnittsfläche der Anschüttung Fig. 7, mit Böschungen von $1:3$, bei horizontalem Terrain, ist mit Benützung der Tabelle I und II zu bewerten.

Die Fläche der beiden Böschungs-Dreiecke

$$B \text{ und } B = 2 \times 9 \cdot 187 \square^m \times 2 \cdot 00 \text{ Coëff.} = 36 \cdot 75 \square^m,$$

die Fläche des mittleren Theiles $M = 3 \cdot 50 \times 180 \cdot 00 = 630 \cdot 00 \square^m$

$$\text{Zusammen} = 666 \cdot 75 \square^m.$$

Da bei rechtwinklig zur Achse ansteigendem oder fallendem Terrain die das letztere im Profil Fig. 8 darstellende gerade Linie $T T$, sich um den Durchschnittspunct O dreht, so nimmt hiedurch die eine der beiden in gleichem Abstand von der Achse A entfernten Ordinaten h_1, h_2 in ihrer Höhe in demselben Maasse zu, als die andere abnimmt.

Die Hälfte von der Summe dieser beiden Ordinaten ist daher immer $= h$ und in Folge dieses Umstandes bleibt die Trapezfläche des mittleren Theiles M für eine bestimmte auf der Achse A gemessene Höhe h unverändert, einerlei ob das Terrain horizontal oder

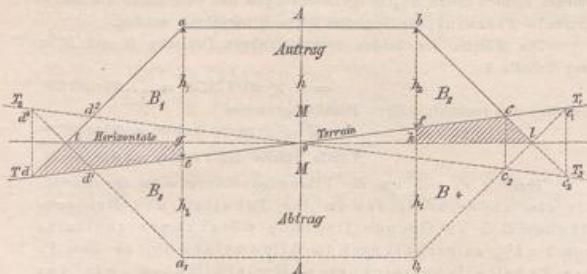
geradlinig geneigt ist. Mit anderen Worten: das Terrainverhältniss hat unter obigen Umständen auf den Flächeninhalt des mittleren Theiles M keinen veränderlichen Einfluss.

Anders dagegen verhält es sich bei nicht horizontalem Terrain mit den Flächen der Böschungs-Dreiecke B_1, B_2 , beziehungsweise B_3, B_4 der trapezoidischen Profile Fig. 8.

Bei geradlinig ansteigendem Terrain in der Richtung von T nach T_1 , Fig. 8, ist der horizontale Abstand d von der Achse A in der linksseitigen Hälfte des Dammprofiles, beziehungsweise c_1, A in der rechtsseitigen Hälfte des Abtragsprofiles, immer grösser als derjenige c, A in der rechtsseitigen Hälfte des Dammprofiles, beziehungsweise d_1, A in der linksseitigen Hälfte des Abtragsprofiles, und folglich ist in diesem Falle die Fläche des Dreieckes $a e d = B_1$, beziehungsweise $b_1 f c_1 = B_2$ immer grösser als diejenige von $b f c = B_3$, beziehungsweise von $a_1 e d_1 = B_4$.

Fällt dagegen das natürliche Terrain in der Richtung von T_2 nach T_1 , so tritt das umgekehrte Verhältniss ein, d. i. die Dreiecksfläche B_1 im Dammprofil, respective diejenige B_3 im Einschnittsprofil, ist dann immer kleiner als die von B_2 , respective B_4 . In beiden Fällen findet dies selbstverständlich statt, gleichviel ob der Durchschnittspunct 0 auf der Horizontalen weiter nach links oder nach rechts verschoben und dadurch die geneigte Terrainlinie in paralleler Entfernung von T, T_1 , beziehungsweise T_2, T_3 höher oder tiefer zu liegen kommen würde.

Figur 8.



Unter der Voraussetzung, dass die Flächen der beiderseitig von der Achse A und über der Horizontalen liegenden Profilhälften des Dammes unter sich ganz gleich wären, so würde in Folge theilweiser Drehung der ursprünglich horizontalen Terrainlinie, um den in der Achse A und auf der Horizontalen liegenden Durchschnittspunct 0 bis zur Deckung der Linie T, T_1 , das links von der Achse liegende rechtwinklige Dreieck $a g i$ um das Trapezoid $i g e d$ grösser, dagegen das rechts von der Achse A liegende $b k l$ um das Trapezoid $f c l k$ kleiner werden. Die rechtsseitig der Achse A und über der Horizontalen vom rechtwinkligen Dreieck $b k l$ abgeschnittene Fläche $f c l k$ deckt aber nur theilweise die linksseitig der Achse A und unter der Horizontalen zum rechtwinkligen Dreieck $a g i$ hinzugekommene Fläche, und zwar nur das Trapezoid $i g e d_1$; folglich ist die Summe der Flächen des stumpfwinkligen Dreieckes $a e d$, plus dem spitzwinkligen Dreieck $b f c$, grösser als diejenige von den beiden rechtwinkligen Dreiecken $a g i + b k l$, und zwar um die Fläche des links der Achse A und unter der Horizontalen liegenden Dreieckes $i d d_1$.

Das hier Gesagte bezieht sich auch auf das Einschnittsprofil a_1, b_1, c_1, d_1 , nur im umgekehrten Sinn mit Bezug auf die Lage der beiden unter der Horizontalen sich befindlichen Profilhälften zur Achse A .

Aus Obigem geht hervor, dass es bei Anwendung der in Rede stehenden Methode nothwendig ist, die Berechnung der beiden Dreiecksflächen in getrennter Weise durchzuführen. Diese getrennte Berechnung ist nun mit Zuhilfenahme der Tabellen I und III sehr vereinfacht, da es sich nur darum handelt, für jedes der beiden Dreiecke die dem Terrainverhältniss und dem horizontalen Abstand von der Achse A entsprechenden Höhen, beziehungsweise Tiefen h_1 und h_2 zu ermitteln, dann die diesen Höhen oder Tiefen entsprechenden Dreiecksflächen in Tabelle I aufzusuchen, und die letzteren mit den sich auf das gegebene Böschungs-

und Terrainverhältniss beziehenden, in Tabelle III aufzusuchenden, Coefficienten zu multipliciren.

Die Ermittlung der in Tabelle III enthaltenen Multiplications-Coefficienten geschah, mit Bezug auf Fig. 8, in folgender Weise:

In dem Trapezoid $a b c d$, Fig. 8, sind die Höhen h_1 und h_2 , das Steigungsverhältniss p der Böschungen, und dasjenige t des natürlichen Terrains, beide per Meter im Vergleich zur Horizontalen, als bekannt vorausgesetzt.

Für das Dreieck B_1 ist der horizontale Abstand

$$e d = \frac{h_1}{p-t}$$

Für B_2 ist der horizontale Abstand

$$f c = \frac{h_2}{p+t}$$

Ist nun z. B. die verticale Höhe h_1 = 20.0^m ,

das Böschungsverhältniss = $1:2$, daher $p = \frac{1.0}{2.0} = 0.50^m$,

und das Terrainverhältniss t per Meter = 0.10^m ,

so ist für das Dreieck B_1 der horizontale Abstand

$$e d = \frac{20.0}{0.50 - 0.10} = 50.0^m$$

und der Flächeninhalt von

$$B_1 = \frac{20.0 \times 50.0}{2} = 500.0^m^2,$$

woraus sich der auf dieses Böschungs- und auf dieses Terrainverhältniss (oder auch auf Flächendreiecke, in welchen alle drei Seiten wechselseitig mit denjenigen vom Dreieck B_1 proportionirt sind, oder welche mit letzterem zwei Winkel wechselseitig gleich haben, d. i. welche mit demselben ähnlich sind) anwendbare Multiplications-Coefficient von

$$\frac{500}{300} = 1.6667 \text{ ergibt.}$$

Auf ähnliche Weise wurden die Flächen beider Dreiecksgattungen, wobei $h = 20.0^m$, für dreizehn verschiedene Böschungsverhältnisse, sowie für zwanzigerlei Terrainneigungen berechnet, und durch die (für ein rechtwinkliges Dreieck, dessen horizontale Kathete = 30.0^m , die verticale $h = 20.0^m$ und dessen Hypotenuse eine $1\frac{1}{4}$ fussige Böschung bildet, so dass

$$p = \frac{1.0}{1.50} = 0.6667^m$$

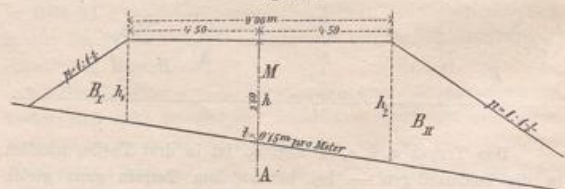
angegebene Fläche von 300.0^m^2 , behufs Ermittlung der in Tabelle III enthaltenen Multiplications-Coefficienten dividirt.

II. Flächenberechnung von Ab- und Auftragsprofilen bei geradlinig geneigter Terrainlinie,

mit Benützung der Tabellen I und III.

1. Beispiel.

Figur 9.



Die zur Flächenberechnung eines Dammprofiles erforderlichen Coten sind in Fig. 9 nur theilweise enthalten; die nicht vorhandenen sind zu berechnen.

Die fehlende Cote h_1 ist = $3.60^m - (4.50 \times 0.15^m) = 2.925^m$.

" " " " h_2 " = $3.60^m + (4.50 \times 0.15^m) = 4.275^m$.

Laut Tabelle I ist die Fläche eines rechtwinkligen Dreieckes entsprechend der Höhe von

$$2.925 = \frac{6.307 + 6.527}{2} = 6.417^m^2$$

und diejenige, entsprechend eines solchen von 4.275^m Höhe ist

$$= \frac{13.517 + 13.867}{2} = 13.707^m^2.$$

Mit Bezug auf die hier gegebenen Böschungs- und Terrainverhältnisse ist, laut Tabelle III, die Fläche des spitzwinkligen Dreiecks

$$B_1 = \text{Coefficient } 0.8163 \times 6.417^* = 5.24 \square^m$$

und diejenige des stumpfwinkligen Dreiecks

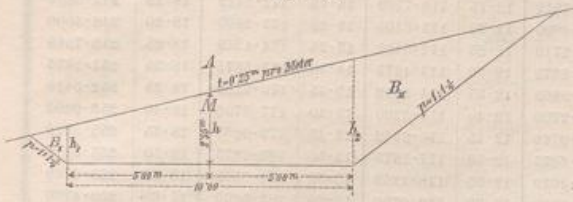
$$B_2 = \text{Coefficient } 1.2903 \times 13.707^* = 17.69 \square^m$$

die Fläche vom Trapez $M = 3.60 \times 9.0 = 32.40 \square^m$

Querschnittsfläche des Dammprofiles Fig. 9 = $55.33 \square^m$

2. Beispiel.

Figur 10.



Die in dem Abtragsprofil Fig. 10 fehlende Cote

$$h_1 = 2.55 - (5.0 \times 0.25) = 1.30^m$$

und die fehlende Cote

$$h_2 = 2.55 + (5.0 \times 0.25) = 3.80^m$$

Die Fläche eines rechtwinkligen Dreiecks, entsprechend der Tiefe h_1 ist, laut Tabelle I, = $1.267 \square^m$; die Fläche eines rechtwinkligen Dreiecks, entsprechend der Tiefe h_2 , ist laut derselben Tabelle = $10.830 \square^m$.

Da das gegebene Böschungsverhältnis = $1 : 1\frac{1}{4}$ und die Terrainneigung per laufenden Meter = 0.25^m ist, so ist laut Tabelle III die Fläche des spitzwinkligen Dreiecks

$$B_1 = \text{Coefficient } 0.6349 \times 1.267^* = 0.80 \square^m$$

und diejenige des stumpfwinkligen Dreiecks

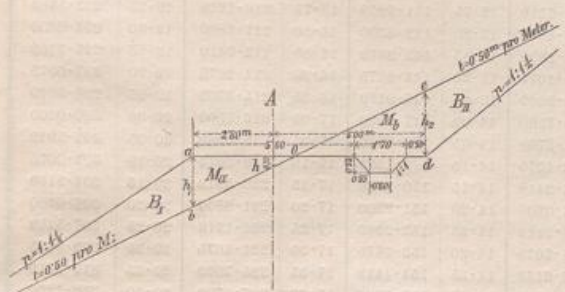
$$B_2 = \text{Coefficient } 1.2121 \times 10.830^* = 13.13 \square^m$$

die Fläche vom Trapez M ist = $2.55 \times 10.0 = 25.50 \square^m$

Querschnittsfläche des Abtragsprofiles Fig. 10 = $39.43 \square^m$.

3. Beispiel.

Figur 11.



In dem Querprofil Fig. 11 ist:

$$h_1 = 0.30 + (2.80 \times 0.50) = 1.70^m$$

$$ao = 2.80 + \frac{0.30}{0.50} = 3.40^m$$

und

$$od = 5.00 - \frac{0.30}{0.50} = 4.40^m$$

$$h_2 = 4.40 \times 0.50 = 2.20^m$$

Im Dammprofil ist die Fläche von:

$$B_1 = \text{Coefficient } 4.0000 \times 2.1675^* = 8.670 \square^m$$

$$M_a = \frac{3.40 \times 1.70}{2} = 2.890 \square^m$$

Querschnittsfläche des Auftrages = $11.560 \square^m$.

Im Anchnittsprofil ist die Fläche von:

$$M_b = \frac{4.40 \times 2.20}{2} = 4.840 \square^m$$

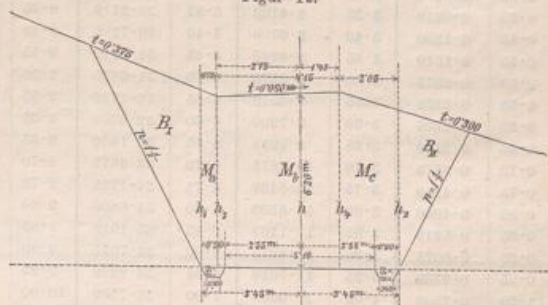
$$B_2 = \text{Coefficient } 2.2222 \times 3.63^* = 8.066 \square^m$$

$$\text{dem Graben} = \frac{1.70 + 0.60}{2} \times 0.55 = 0.632 \square^m$$

Querschnittsfläche des Abtrages = $13.538 \square^m$.

4. Beispiel.

Figur 12.



In dem Querprofil Fig. 12 ist:

$$h_1 = 6.20 - (2.75 \times 0.06) = 6.035^m$$

$$h_2 = 6.035 + (0.70 \times 0.375) = 6.297^m$$

$$h_3 = 6.20 + (1.40 \times 0.06) = 6.284^m$$

$$h_4 = 6.284 - (2.05 \times 0.30) = 5.669^m$$

$$B_1 = \text{Coefficient } 0.4103 \times 29.75^* = 12.210 \square^m$$

$$M_a = \frac{6.297 + 6.035}{2} \times 0.70 = 4.316$$

$$M_b = \frac{6.035 + 6.284}{2} \times 4.15 = 25.562$$

$$M_c = \frac{6.284 + 5.669}{2} \times 2.05 = 12.252$$

$$= 42.130 \square^m$$

$$M_d = \frac{23.942 + 24.367}{2} \times \text{Coefficient } 0.2898 = 7.000 \square^m$$

die beiden Gräben

$$= 2 \times \frac{0.90 + 0.40}{2} \times 0.55 = 0.650 \square^m$$

Querschnittsfläche des Felseneinschnittes Fig. 12 ... = $61.990 \square^m$.

Die angeführten Beispiele dürften die allgemeine Brauchbarkeit dieser Flächen-Berechnungsmethode und der darauf basirten Hilfstabellen in genügender Weise dargethan haben. Durch das letzte auf Figur 12 bezügliche Beispiel dürfte auch deren Verwendbarkeit für Flächenermittelungen von Auf- und Abtragsprofilen bei gebrochenen Terrainverhältnissen erwiesen sein.

In welchen Fällen es geboten ist, die Profile nach dem Massstabe aufzutragen und die Querschnittsflächen mit Anwendung des Planimeters zu ermitteln, und in welchen anderen es mit Bezug auf Kosten- und Zeitersparnis angezeigt ist, sich mit der Anfertigung von Profilskizzen nach freier Hand zu begnügen und die Flächen nach einer oder der anderen der gebräuchlichen Berechnungsarten mit Benutzung der diesbezüglichen Hilfstabellen zu berechnen, muss selbstverständlich dem Ermessen solcher Fachleute, welche mit den verschiedenen Methoden gehörig vertraut sind, anheimgestellt bleiben.

*) Selbstverständlich sind alle mit *) bezeichneten Flächenausmasse der Dreiecke B_1 und B_2 entsprechend den Höhen h_1 und h_2 der Tabelle I, und die diesen stumpf- respective spitzwinkligen Dreiecken, den gegebenen Böschungs- und Terrainverhältnissen entsprechenden Multiplications-Coefficienten der Tabelle III entnommen.

Tabelle I.

Querschnittsflächen für $1\frac{1}{4}$ füssige Böschungsprismen von Dämmen und Einschnitten bis zu 21^m Höhe, bei horizontalem Terrain rechtwinkelig zur Achse.

Höhe des Auf- oder Ab- trages	Dreieck- fläche eines Böschungs- körpers	Höhe des Auf- oder Ab- trages	Dreieck- fläche eines Böschungs- körpers	Höhe des Auf- oder Ab- trages	Dreieck- fläche eines Böschungs- körpers	Höhe des Auf- oder Ab- trages	Dreieck- fläche eines Böschungs- körpers	Höhe des Auf- oder Ab- trages	Dreieck- fläche eines Böschungs- körpers	Höhe des Auf- oder Ab- trages	Dreieck- fläche eines Böschungs- körpers	Höhe des Auf- oder Ab- trages	Dreieck- fläche eines Böschungs- körpers
Meter	□Meter	Meter	□Meter	Meter	□Meter	Meter	□Meter	Meter	□Meter	Meter	□Meter	Meter	□Meter
0.05	0.0019	3.05	6.9769	6.05	27.4519	9.05	61.4269	12.05	108.9019	15.05	169.8769	18.05	244.3519
0.10	0.0075	3.10	7.2075	6.10	27.9075	9.10	62.1075	12.10	109.8075	15.10	171.0075	18.10	245.7075
0.15	0.0169	3.15	7.4419	6.15	28.3669	9.15	62.7919	12.15	110.7169	15.15	172.1419	18.15	247.0669
0.20	0.0300	3.20	7.6800	6.20	28.8300	9.20	63.4800	12.20	111.6300	15.20	173.2800	18.20	248.4300
0.25	0.0469	3.25	7.9219	6.25	29.2969	9.25	64.1719	12.25	112.5469	15.25	174.4219	18.25	249.7969
0.30	0.0675	3.30	8.1675	6.30	29.7675	9.30	64.8675	12.30	113.4675	15.30	175.5675	18.30	251.1675
0.35	0.0919	3.35	8.4169	6.35	30.2419	9.35	65.5669	12.35	114.3919	15.35	176.7169	18.35	252.5419
0.40	0.1200	3.40	8.6700	6.40	30.7200	9.40	66.2700	12.40	115.3200	15.40	177.8700	18.40	253.9200
0.45	0.1519	3.45	8.9269	6.45	31.2019	9.45	66.9769	12.45	116.2519	15.45	179.0269	18.45	255.3019
0.50	0.1875	3.50	9.1875	6.50	31.6875	9.50	67.6875	12.50	117.1875	15.50	180.1875	18.50	256.6875
0.55	0.2269	3.55	9.4519	6.55	32.1769	9.55	68.4019	12.55	118.1269	15.55	181.3519	18.55	258.0769
0.60	0.2700	3.60	9.7200	6.60	32.6700	9.60	69.1200	12.60	119.0700	15.60	182.5200	18.60	259.4700
0.65	0.3169	3.65	9.9919	6.65	33.1669	9.65	69.8419	12.65	120.0169	15.65	183.6919	18.65	260.8669
0.70	0.3675	3.70	10.2675	6.70	33.6675	9.70	70.5675	12.70	120.9675	15.70	184.8675	18.70	262.2675
0.75	0.4219	3.75	10.5469	6.75	34.1719	9.75	71.2969	12.75	121.9219	15.75	186.0469	18.75	263.6719
0.80	0.4800	3.80	10.8300	6.80	34.6800	9.80	72.0300	12.80	122.8800	15.80	187.2300	18.80	265.0800
0.85	0.5419	3.85	11.1169	6.85	35.1919	9.85	72.7669	12.85	123.8419	15.85	188.4169	18.85	266.4919
0.90	0.6075	3.90	11.4075	6.90	35.7075	9.90	73.5075	12.90	124.8075	15.90	189.6075	18.90	267.9075
0.95	0.6769	3.95	11.7019	6.95	36.2269	9.95	74.2519	12.95	125.7769	15.95	190.8019	18.95	269.3269
1.00	0.7500	4.00	12.0000	7.00	36.7500	10.00	75.0000	13.00	126.7500	16.00	192.0000	19.00	270.7500
1.05	0.8269	4.05	12.3019	7.05	37.2769	10.05	75.7519	13.05	127.7269	16.05	193.2019	19.05	272.1769
1.10	0.9075	4.10	12.6075	7.10	37.8075	10.10	76.5075	13.10	128.7075	16.10	194.4075	19.10	273.6075
1.15	0.9919	4.15	12.9169	7.15	38.3419	10.15	77.2669	13.15	129.6919	16.15	195.6169	19.15	275.0419
1.20	1.0800	4.20	13.2300	7.20	38.8800	10.20	78.0300	13.20	130.6800	16.20	196.8300	19.20	276.4800
1.25	1.1719	4.25	13.5469	7.25	39.4219	10.25	78.7969	13.25	131.6719	16.25	198.0469	19.25	277.9219
1.30	1.2675	4.30	13.8675	7.30	39.9675	10.30	79.5675	13.30	132.6675	16.30	199.2675	19.30	279.3675
1.35	1.3669	4.35	14.1919	7.35	40.5169	10.35	80.3419	13.35	133.6669	16.35	200.4919	19.35	280.8169
1.40	1.4700	4.40	14.5200	7.40	41.0700	10.40	81.1200	13.40	134.6700	16.40	201.7200	19.40	282.2700
1.45	1.5769	4.45	14.8519	7.45	41.6269	10.45	81.9019	13.45	135.6769	16.45	202.9519	19.45	283.7269
1.50	1.6875	4.50	15.1875	7.50	42.1875	10.50	82.6875	13.50	136.6875	16.50	204.1875	19.50	285.1875
1.55	1.8019	4.55	15.5269	7.55	42.7519	10.55	83.4769	13.55	137.7019	16.55	205.4269	19.55	286.6519
1.60	1.9200	4.60	15.8700	7.60	43.3200	10.60	84.2700	13.60	138.7200	16.60	206.6700	19.60	288.1200
1.65	2.0419	4.65	16.2169	7.65	43.8919	10.65	85.0669	13.65	139.7419	16.65	207.9169	19.65	289.5919
1.70	2.1675	4.70	16.5675	7.70	44.4675	10.70	85.8675	13.70	140.7675	16.70	209.1675	19.70	291.0675
1.75	2.2969	4.75	16.9219	7.75	45.0469	10.75	86.6719	13.75	141.7969	16.75	210.4219	19.75	292.5469
1.80	2.4300	4.80	17.2800	7.80	45.6300	10.80	87.4800	13.80	142.8300	16.80	211.6800	19.80	294.0300
1.85	2.5669	4.85	17.6419	7.85	46.2169	10.85	88.2919	13.85	143.8669	16.85	212.9419	19.85	295.5169
1.90	2.7075	4.90	18.0075	7.90	46.8075	10.90	89.1075	13.90	144.9075	16.90	214.2075	19.90	297.0075
1.95	2.8519	4.95	18.3769	7.95	47.4019	10.95	89.9269	13.95	145.9159	16.95	215.4769	19.95	298.5019
2.00	3.0000	5.00	18.7500	8.00	48.0000	11.00	90.7500	14.00	147.0000	17.00	216.7500	20.00	300.0000
2.05	3.1519	5.05	19.1269	8.05	48.6019	11.05	91.5769	14.05	148.0519	17.05	218.0269	20.05	301.5019
2.10	3.3075	5.10	19.5075	8.10	49.2075	11.10	92.4075	14.10	149.1075	17.10	219.3075	20.10	303.0075
2.15	3.4669	5.15	19.8919	8.15	49.8169	11.15	93.2419	14.15	150.1669	17.15	220.5919	20.15	304.5169
2.20	3.6300	5.20	20.2800	8.20	50.4300	11.20	94.0800	14.20	151.2300	17.20	221.8800	20.20	306.0300
2.25	3.7969	5.25	20.6719	8.25	51.0469	11.25	94.9219	14.25	152.2969	17.25	223.1719	20.25	307.5469
2.30	3.9675	5.30	21.0675	8.30	51.6675	11.30	95.7675	14.30	153.3675	17.30	224.4675	20.30	309.0675
2.35	4.1419	5.35	21.4669	8.35	52.2919	11.35	96.6169	14.35	154.4419	17.35	225.7669	20.35	310.5919
2.40	4.3200	5.40	21.8700	8.40	52.9200	11.40	97.4700	14.40	155.5200	17.40	227.0700	20.40	312.1200
2.45	4.5019	5.45	22.2769	8.45	53.5519	11.45	98.3269	14.45	156.6019	17.45	228.3869	20.45	313.6519
2.50	4.6875	5.50	22.6875	8.50	54.1875	11.50	99.1875	14.50	157.6875	17.50	229.6875	20.50	315.1875
2.55	4.8769	5.55	23.1019	8.55	54.8269	11.55	100.0519	14.55	158.7769	17.55	231.0019	20.55	316.7269
2.60	5.0700	5.60	23.5200	8.60	55.4700	11.60	100.9200	14.60	159.8700	17.60	232.3200	20.60	318.2700
2.65	5.2669	5.65	23.9419	8.65	56.1169	11.65	101.7919	14.65	160.9669	17.65	233.6419	20.65	319.8169
2.70	5.4675	5.70	24.3675	8.70	56.7675	11.70	102.6675	14.70	162.0675	17.70	234.9675	20.70	321.3675
2.75	5.6719	5.75	24.7969	8.75	57.4219	11.75	103.5469	14.75	163.1719	17.75	236.2969	20.75	322.9219
2.80	5.8800	5.80	25.2300	8.80	58.0800	11.80	104.4300	14.80	164.2800	17.80	237.6300	20.80	324.4800
2.85	6.0919	5.85	25.6669	8.85	58.7419	11.85	105.3169	14.85	165.3919	17.85	238.9669	20.85	326.0419
2.90	6.3075	5.90	26.1075	8.90	59.4075	11.90	106.2075	14.90	166.5075	17.90	240.3075	20.90	327.6075
2.95	6.5269	5.95	26.5519	8.95	60.0769	11.95	107.1019	14.95	167.6269	17.95	241.6519	20.95	329.1769
3.00	6.7500	6.00	27.0000	9.00	60.7500	12.00	108.0000	15.00	168.7500	18.00	243.0000	21.00	330.7500

Tabelle II. Coëfficienten, mit welchen die in Tabelle I enthaltenen Dreieckflächen zu multipliciren sind, wenn bei horizontalem Terrain das Böschungsverhältniss ein anderes ist als 1 : 1 1/2.

Böschungsverhältniss p Höhe zur Basis	Elemente zur Berechnung der Coëfficienten	Multiplications- Coëfficienten	Böschungsverhältniss p Höhe zur Basis	Elemente zur Berechnung der Coëfficienten	Multiplications- Coëfficienten
1 : 1/4	0.1667 1.50 =	0.11113	1 : 1 1/4	1.750 1.50 =	1.16667
1 : 1/3	0.250 1.50 =	0.16667	1 : 2	2.00 1.50 =	1.33333
1 : 1/2	0.500 1.50 =	0.33333	1 : 2 1/4	2.250 1.50 =	1.50000
1 : 2/3	0.750 1.50 =	0.50000	1 : 2 1/2	2.500 1.50 =	1.66667
1 : 1	1.00 1.50 =	0.66667	1 : 2 3/4	2.750 1.50 =	1.83333
1 : 1 1/4	1.250 1.50 =	0.83333	1 : 3	3.00 1.50 =	2.00000
1 : 1 1/2	1.50 1.50 =	1.00000			

Bemerkungen: Im Allgemeinen verhält sich das der Tabelle I zu Grunde gelegte Böschungsverhältniss von 1 1/2 zu den hiefür in genannter Tabelle enthaltenen Dreieckflächen, welche hier mit F bezeichnet werden, wie jedes andere Böschungsverhältniss p zu der dem letzteren entsprechenden Fläche x eines rechtwinkligen Dreieckes, oder: 1 1/2 : F :: p : x.
 Beispiel: Welches ist der Flächeninhalt x eines rechtwinkligen Dreieckes, dessen Böschungsverhältniss p = 2 1/4 füssig und dessen verticale Höhe = 15.00m ist? F = 168.750m² (laut Tabelle I), p = 2 1/4, 2 1/4 : x :: 1 1/2 : 168.750m²,

$$x = \frac{168.750m^2 \times 2 1/4}{1 1/2} = 263.125m^2.$$

Tabelle III. Coëfficienten, mit welchen die in Tabelle I verzeichneten Dreieckflächen zu multipliciren sind, wenn die Terrainoberfläche rechtwinkelig zur Längsachse ansteigt oder fällt.

Böschungsverhältniss p des Auf- oder Abtrages	A. Multiplications-Coëfficienten für die spitzwinkligen Dreiecke a b c.																			
	Gefälle oder Steigung des Terrains per 1 ^m rechtwinkelig zur Achse																			
Höhe zur Basis	0.025	0.050	0.075	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200	0.225	0.250	0.275	0.300	0.325	0.350	0.375	0.400	0.425	0.450	0.475	0.500
1 : 1/4	0.1107	0.1102	0.1098	0.1093	0.1089	0.1084	0.1080	0.1075	0.1071	0.1067	0.1063	0.1058	0.1054	0.1050	0.1046	0.1041	0.1038	0.1034	0.1030	0.1026
1 : 1/3	0.1656	0.1646	0.1636	0.1626	0.1616	0.1606	0.1597	0.1587	0.1578	0.1569	0.1560	0.1550	0.1541	0.1533	0.1524	0.1515	0.1507	0.1498	0.1490	0.1481
1 : 1/2	0.3292	0.3252	0.3213	0.3175	0.3137	0.3101	0.3065	0.3030	0.2996	0.2963	0.2930	0.2898	0.2867	0.2837	0.2807	0.2778	0.2749	0.2721	0.2694	0.2667
1 : 2/3	0.4908	0.4819	0.4734	0.4651	0.4571	0.4494	0.4420	0.4348	0.4278	0.4210	0.4145	0.4082	0.4020	0.3960	0.3902	0.3846	0.3791	0.3738	0.3687	0.3636
1 : 1	0.6504	0.6349	0.6201	0.6061	0.5926	0.5797	0.5674	0.5555	0.5442	0.5333	0.5229	0.5128	0.5031	0.4938	0.4848	0.4762	0.4678	0.4598	0.4520	0.4444
1 : 1 1/4	0.8081	0.7843	0.7619	0.7407	0.7207	0.7017	0.6838	0.6667	0.6504	0.6349	0.6201	0.6061	0.5926	0.5797	0.5674	0.5555	0.5442	0.5333	0.5229	0.5128
1 : 1 1/2	0.9638	0.9302	0.8989	0.8696	0.8421	0.8163	0.7921	0.7692	0.7477	0.7273	0.7080	0.6896	0.6723	0.6557	0.6400	0.6250	0.6107	0.5970	0.5839	0.5714
1 : 2	1.1177	1.0728	1.0313	0.9929	0.9573	0.9241	0.8932	0.8642	0.8371	0.8115	0.7876	0.7650	0.7437	0.7235	0.7044	0.6863	0.6691	0.6527	0.6371	0.6222
1 : 2 1/4	1.2698	1.2121	1.1594	1.1111	1.0667	1.0256	0.9876	0.9524	0.9195	0.8889	0.8602	0.8333	0.8081	0.7843	0.7619	0.7407	0.7207	0.7017	0.6838	0.6667
1 : 2 1/2	1.4202	1.3484	1.2835	1.2246	1.1708	1.1216	1.0763	1.0345	0.9959	0.9601	0.9267	0.8956	0.8665	0.8392	0.8136	0.7895	0.7668	0.7454	0.7251	0.7059
1 : 3	1.5686	1.4815	1.4035	1.3333	1.2698	1.2121	1.1594	1.1111	1.0667	1.0256	0.9876	0.9524	0.9195	0.8889	0.8602	0.8333	0.8081	0.7843	0.7619	0.7407
1 : 3 1/4	1.7154	1.6117	1.5194	1.4380	1.3643	1.2979	1.2377	1.1827	1.1325	1.0864	1.0439	1.0046	0.9681	0.9342	0.9026	0.8730	0.8453	0.8194	0.7950	0.7719
1 : 3 1/2	1.8605	1.7391	1.6326	1.5385	1.4546	1.3793	1.3115	1.2500	1.1940	1.1429	1.0959	1.0526	1.0126	0.9756	0.9412	0.9091	0.8791	0.8511	0.8247	0.8000

Böschungsverhältniss p des Auf- oder Abtrages	B. Multiplications-Coëfficienten für die stumpfwinkligen Dreiecke d e f.																			
	Gefälle oder Steigung des Terrains per 1 ^m rechtwinkelig zur Achse																			
Höhe zur Basis	0.025	0.050	0.075	0.100	0.125	0.150	0.175	0.200	0.225	0.250	0.275	0.300	0.325	0.350	0.375	0.400	0.425	0.450	0.475	0.500
1 : 1/4	0.1116	0.1121	0.1125	0.1130	0.1135	0.1140	0.1145	0.1150	0.1155	0.1160	0.1165	0.1170	0.1175	0.1180	0.1186	0.1191	0.1196	0.1201	0.1207	0.1212
1 : 1/3	0.1677	0.1688	0.1698	0.1709	0.1720	0.1732	0.1743	0.1754	0.1766	0.1778	0.1790	0.1802	0.1814	0.1826	0.1839	0.1852	0.1865	0.1878	0.1891	0.1905
1 : 1/2	0.3375	0.3419	0.3463	0.3509	0.3555	0.3604	0.3653	0.3707	0.3756	0.3809	0.3865	0.3922	0.3980	0.4040	0.4103	0.4167	0.4233	0.4301	0.4372	0.4444
1 : 2/3	0.5096	0.5195	0.5298	0.5405	0.5517	0.5634	0.5755	0.5882	0.6015	0.6154	0.6299	0.6452	0.6612	0.6780	0.6957	0.7143	0.7339	0.7547	0.7767	0.8000
1 : 1	0.6838	0.7017	0.7207	0.7407	0.7619	0.7843	0.8081	0.8333	0.8602	0.8889	0.9195	0.9524	0.9876	1.0256	1.0667	1.1111	1.1594	1.2121	1.2698	1.3333
1 : 1 1/4	0.8602	0.8889	0.9195	0.9524	0.9876	1.0256	1.0667	1.1111	1.1594	1.2121	1.2698	1.3333	1.4035	1.4815	1.5686	1.6667	1.7778	1.9048	2.0512	2.2222
1 : 1 1/2	1.0390	1.0811	1.1268	1.1765	1.2308	1.2903	1.3559	1.4286	1.5094	1.6000	1.7021	1.8182	1.9512	2.1053	2.2857	2.5000	2.7586	3.0769	3.4783	4.0000
1 : 2	1.2201	1.2786	1.3430	1.4142	1.4934	1.5820	1.6815	1.7950	1.9246	2.0743	2.2492	2.4564	2.7057	3.0111	3.3944	3.8895	4.5537	5.4915	6.9156	9.3371
1 : 2 1/4	1.4035	1.4815	1.5686	1.6667	1.7778	1.9048	2.0512	2.2222	2.4242	2.6667	2.9630	3.3333	3.8095	4.4444	5.3333	6.6667	8.8889	13.3333	26.6667	∞
1 : 2 1/2	1.5896	1.6903	1.8047	1.9357	2.0872	2.2645	2.4746	2.7278	3.0386	3.4293	3.9555	4.6168	5.5835	7.0621	9.6061	13.0150	18.3613	∞	∞	∞
1 : 3	1.7778	1.9048	2.0512	2.2222	2.4242	2.6667	2.9630	3.3333	3.8095	4.4444	5.3333	6.6667	8.8889	13.3333	26.6667	∞	∞	∞	∞	∞
1 : 3 1/4	1.9687	2.1256	2.3097	2.5287	2.7936	3.1205	3.5341	4.0740	4.8086	5.8665	7.5211	10.4756	17.2533	48.8758	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1 : 3 1/2	2.1622	2.3529	2.5806	2.8571	3.2000	3.6364	4.2105	5.0000	6.1538	8.0000	11.4286	20.0000	80.0000	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞

Table II. Comparison of the results of the present study with those of other authors.

Author	Year	Sample Size	Mean Value	Standard Deviation	Significance
Smith et al.	1985	100	1.2	0.3	p < 0.05
Johnson et al.	1987	150	1.5	0.4	p < 0.01
Williams et al.	1989	200	1.8	0.5	p < 0.001
Miller et al.	1991	250	2.1	0.6	p < 0.0001
Lee et al.	1993	300	2.4	0.7	p < 0.0001
Chen et al.	1995	350	2.7	0.8	p < 0.0001
White et al.	1997	400	3.0	0.9	p < 0.0001
Black et al.	1999	450	3.3	1.0	p < 0.0001
Green et al.	2001	500	3.6	1.1	p < 0.0001
Brown et al.	2003	550	3.9	1.2	p < 0.0001
Gold et al.	2005	600	4.2	1.3	p < 0.0001
Silver et al.	2007	650	4.5	1.4	p < 0.0001
Steele et al.	2009	700	4.8	1.5	p < 0.0001
Young et al.	2011	750	5.1	1.6	p < 0.0001
Hughes et al.	2013	800	5.4	1.7	p < 0.0001
Wright et al.	2015	850	5.7	1.8	p < 0.0001
King et al.	2017	900	6.0	1.9	p < 0.0001
Wells et al.	2019	950	6.3	2.0	p < 0.0001
Scott et al.	2021	1000	6.6	2.1	p < 0.0001

Table III. Comparison of the results of the present study with those of other authors.

Author	Year	Sample Size	Mean Value	Standard Deviation	Significance
Smith et al.	1985	100	1.2	0.3	p < 0.05
Johnson et al.	1987	150	1.5	0.4	p < 0.01
Williams et al.	1989	200	1.8	0.5	p < 0.001
Miller et al.	1991	250	2.1	0.6	p < 0.0001
Lee et al.	1993	300	2.4	0.7	p < 0.0001
Chen et al.	1995	350	2.7	0.8	p < 0.0001
White et al.	1997	400	3.0	0.9	p < 0.0001
Black et al.	1999	450	3.3	1.0	p < 0.0001
Green et al.	2001	500	3.6	1.1	p < 0.0001
Brown et al.	2003	550	3.9	1.2	p < 0.0001
Gold et al.	2005	600	4.2	1.3	p < 0.0001
Silver et al.	2007	650	4.5	1.4	p < 0.0001
Steele et al.	2009	700	4.8	1.5	p < 0.0001
Young et al.	2011	750	5.1	1.6	p < 0.0001
Hughes et al.	2013	800	5.4	1.7	p < 0.0001
Wright et al.	2015	850	5.7	1.8	p < 0.0001
King et al.	2017	900	6.0	1.9	p < 0.0001
Wells et al.	2019	950	6.3	2.0	p < 0.0001
Scott et al.	2021	1000	6.6	2.1	p < 0.0001

GRAPHISCHE DARSTELLUNG

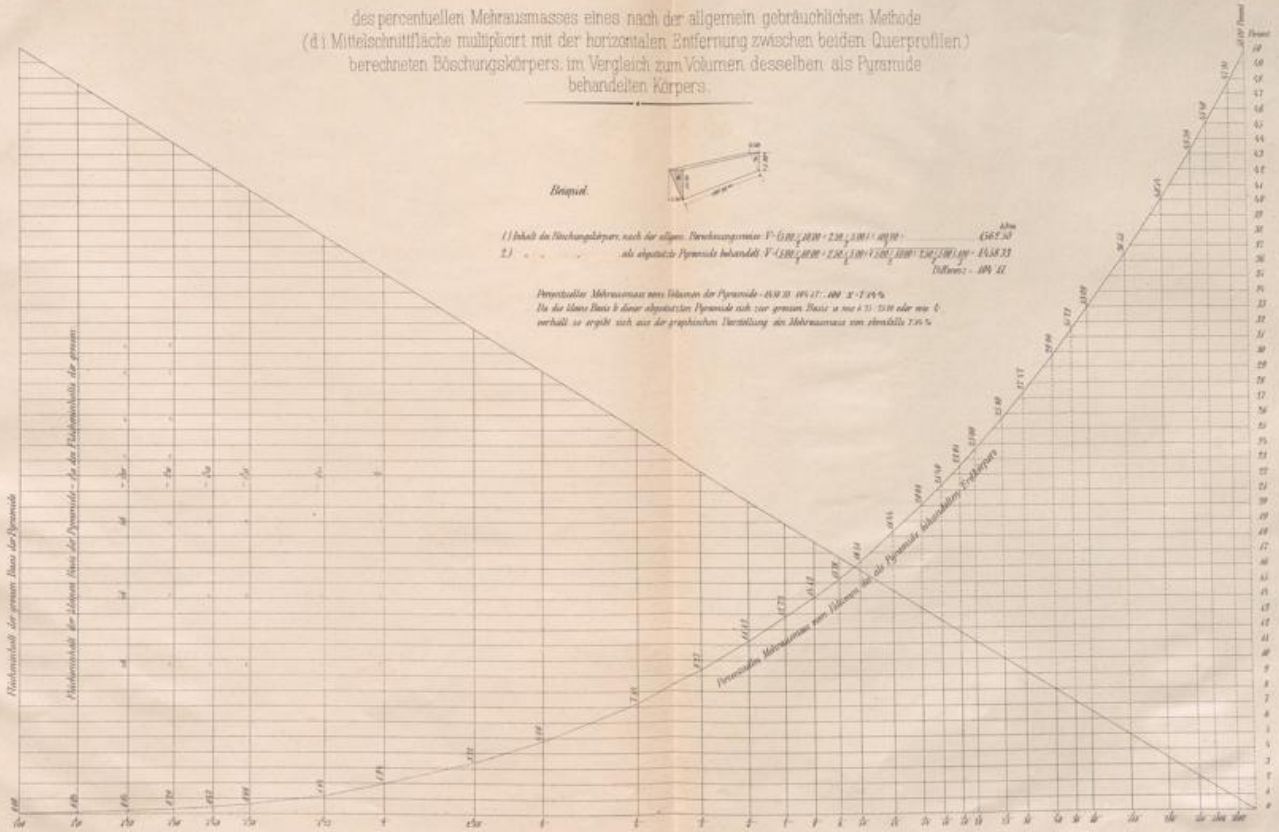
des percentuellen Mehrausmasses eines nach der allgemein gebräuchlichen Methode (d1 Mittelschnittfläche multipliziert mit der horizontalen Entfernung zwischen beiden Querprofilen) berechneten Böschungskörpers, im Vergleich zum Volumen desselben als Pyramide behandelten Körpers.

Beispiel.



- 1) Inhalt des Böschungskörpers, nach der allgem. Berechnungsmeth. $V = 6,00 \cdot 10,00 + 2,00 \cdot 1,00 + 10,00 = 456,00$
 - 2) als allgemeine Pyramide behandelt $V = 1,50 \cdot 10,00 + 1,50 \cdot 1,00 + 10,00 = 15,58,33$
- Differenz = 440,42

Percentuelles Mehrausmass vom Volumen der Pyramide = $440,42 : 10,00 = 44,042$
Da die kleine Basis 6 dieser allgemeinen Pyramide sich zur grossen Basis 10 wie 3 : 5 verhält, so verhält sich auch die percentuelle Darstellung des Mehrausmasses vom Abstände 7,5 : 10.



Entwickelt von Prof. Dr. Adolf Furtner 1917.

Dr. Bäckhaus, Prof. Dr. Furtner



